

的消失和上部岩层反射波连续性的相对变坏,不会达到火烧区基本为散射的状况。结合实地情况,区分火烧区和采空区应该是比较容易的。

4.3 成本问题

我们围绕奇台火烧山施工的地震测线,是整个区块综合勘探的一部分,并不是单独针对火烧山进行的工作,相对成本较低。如果单独针对火烧区进行地震工作,较其他物探方法,我们认为成本还是相对偏高的。

4.4 局限性问题

一次地震工作不能判定煤层是否正在燃烧。通过定期观测确定煤层是否正在燃烧以及燃烧的速度,也是可以的,但是现实情况下又存在成本偏高的问题。

5 主要结论

用地震方法圈定煤层火烧区边界具有精度高,勘查深度大的优势。与钻探和其他物探方法结合起来,在不同地区,针对不同条件和不同的目的,运用不同手段,能达到事半功倍的勘探效果。

参考文献

- [1] 张秀山. 新疆煤田火烧区特征及灭火问题探讨[J]. 中国煤田地质, 2004, 16(1): 6-9.
- [2] 曾融生. 岩石磁性. 中国科学院地球物理所, 1963.
- [3] 张秀山. 磁法探测煤层自燃火区[J]. 煤田地质与勘探, 1980(6): 25-29.

作者简介: 郭联合, (1968—), 男, 物探高级工程师, 山东省煤田地质局物探测量队。

综合物探在深部找矿工作中的应用效果

曹春国

(山东省物化探勘查院, 济南, 250013)

摘 要 在深部矿产资源勘查中, 地球物理勘探是最重要的技术手段之一, 在该领域的技术能力直接关系到我国深部资源探测的水平。因此, 研究开发地球物理勘查新技术是我国危机矿山资源大调查的重要技术保证之一。而有色金属矿床是我国目前危机资源大调查的重点矿种, 磁法、电法、激电、电磁法等是最常用的勘探方法, 在前期的找矿工作中发挥了重大的作用。但随着探测深度的不断增大, 在矿区人文干扰因素严重的影响下, 以上普通地球物理勘探方法, 由于受仪器设备的精度及功率等技术条件的限制, 找矿地质效果每况愈下。为此山



东省物化探勘查院加大了地球物理新方法、新技术的综合应用研究力度,并在深部找矿工作中取得了显著的地质效果。

关键词 谱激电 电磁效应 激电效应 复电阻率 充电率 时间常数

0 序言

目前我国重要矿产资源勘查的找矿重点地区多集中在大中矿山及中高山地区,而铜、铅、锌等金属硫化物矿床及与硫化物密切相关的金、银矿床是我国目前危机资源大调查的重点矿种,地面磁法、电法、大功率激电、电磁法等是寻找这类矿产资源的最常用的勘探方法,在前期的找矿工作中发挥了重大的作用。但随着探测深度的不断增大,在矿区人文干扰因素严重的影响下,以上普通地球物理勘探方法,由于受仪器设备的精度及功率等技术条件的限制,找矿地质效果每况愈下。因此,在新一轮的深部找矿及危机矿山资源大调查工作中,必须大力发展地球物理新方法、新技术,在深部找矿工作中取得了较大的突破。

1 方法技术

1.1 可控源音频大地电磁法(CSAMT)

1.1.1 方法原理

可控源音频大地电磁(Controlled Source Audio-frequency Magneto-Telluric),简称CSAMT法。它是利用接地水平电偶源为信号源的一种频率域电磁测深法,主要是针对天然信号随机性大,信号弱的特点,由大功率发射机向地下发送所需频段范围的电磁场来代替天然场,供电电流可达30A,在距发射场源足够远的地区观测电场的水平分量 E_x 和磁场的水平分量 H_y ,并沿用大地电磁中的公式求得地下介质电阻率和阻抗相位: $\rho_w = \frac{1}{5f} \left[\frac{E_x}{H_y} \right]^2$,测量过程中通过调整供电频率的高低,可得到不同深度的地电信息,从而达到垂向频率测深的目的。

1.1.2 方法的主要特点

(1)勘探深度大:可用公式 $H=356 \sqrt{\rho_s/f}$ 来大致估算探测深度,由公式可以看出,探测深度(H)与视电阻率(ρ_s)的平方根成正比,与频率(f)的平方根成反比,所以在频率一定的情况下,探测深度的大小取决于电阻率的大小。V8目前所用的频率范围为0.156~9600Hz,发送功率为30kW,其探测深度范围为几十米至2000m。

(2)与直流电测深相比,具有丰富的频谱(目前V8最多能接受100个频点),等值范围小,分辨率高。

(3)受地形影响小:由于接收时所测的值事实上进行了归一化,因而地形影响大为减弱,由于是水平波场,因此,测区内地形影响也较小。

(4)高阻层穿透能力强:CSAMT法使用的是交变电磁场,因而它可以穿过高阻层,特

别是高阻博层。有些无法用直流电法探测到的高阻博层下的地质体,使用 CSAMT 法能很好的反应。

1.1.3 CSAMT 方法的应用

根据得到的视电阻率测深曲线、等值线断面,可确定高阻基底面的起伏,沉积岩系的分层,识别断层及圈定局部构造等;在地电条件有利的情况下,也可以直接寻找良导矿体。

1.2 频谱激电法(SIP)

1.2.1 基本原理

频谱激电法(SIP)是采用电阻率法的布极装置(通常采用偶极装置),在超低频段上观测视复电阻率频谱,通过研究复电阻率的频谱特性,解决地质问题。

SIP 方法在地面采用偶极-偶极排列装置,扫频观测径向电场,是一种高密度几何测深方法。在所测得的频谱中包含了由导电性引起的近场区电磁谱(EM)和由电极化性引起的激电谱(IP)。两种谱在频带上占据不同的位置,用不同的模型做实测视频谱的拟合反演可以分离它们,进而达到去电磁谱(EM)响应(去耦),并求取四个激电谱(IP)参数: ρ_s (视复电阻率)、 m_s (视充电率)、 τ_s (视时间常数)、 c_s (视频率相关系数)。这四个激电谱参数反映了地下地质体的导电和电极化的性质,可以对异常的物质属性做出较准确的判断。

在 SIP 法实测的复电阻率频谱中,同时包含了激电(IP)和电磁(EM)效应,实测的视电阻率是频率 f 或角频率 $\omega = 2\pi f$ 的复变函数 $\rho_a(i\omega)$,并且可表示为两个 Cole-Cole 模型之和

$$\rho_a(i\omega) = \rho_{a_0} \left\{ 1 - m_1 \left[1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau_1)^{c_1}} \right] \pm m_2 \left[1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau_2)^{c_2}} \right] \right\}$$

式中, ρ_{a_0} 为频率零时(包含 IP 效应)的视电阻率; m_1 , τ_1 和 C_1 分别为 IP 效应的充电率、时间常数和频率相关系数; m_2 , τ_2 和 C_2 分别为 EM 效应的充电率、时间常数和频率相关系数。

在均匀大地条件下,描述激电效应和电磁效应谱的 Cole-Cole 模型参数具有如下规律: $C_1 = 0.1 - 0.6$, $C_2 = 0.9 - 1.0$; $\tau_1 \gg \tau_2$ 。据此,可区分和分离 IP 和 EM。

1.2.2 SIP 法的主要优点

频谱激电(SIP)法,是一种新的激电方法,在国内还没有广泛应用,我们通过大量已知矿床及成矿带上的实测资料,以及和其他物探方法资料的对比分析,总结得出 SIP 法具有如下主要优点:

(1)由于 SIP 法观测的是某一时间段的极化场(总场),所以在供电电流较小的情况下,可以观测到较大的激电效应信息,因此具有较高的分辨率。

(2)SIP 法野外观测常采用偶极装置,装置轻便,受电磁耦合的干扰小,具有异常幅度大对极化体形状和产状的分辨能力较强,对覆盖层的穿透深度大等优点。

(3)由于接收机具有选频和滤波系统,它只接收由发送机发出的固定频率信号,因此,



在克服电极极化不稳和不良接地条件方面以及在避免工业游散电流和天然大地电流场的影响方面均比直流激电法有优势。具有较强的抗干扰能力。在某些相当困难的条件下,该方法仍能获得较好的观测资料。

(4)SIP 在深部金属矿勘探中优势突出,相对直流激电法而言,可观测研究的参数多,组合使用反演提供的导电性参数、IP 谱强度参数与 IP 谱形态参数,可以从不同角度侧重于不同方面去研究电化学场的特性,有可能对评价激电异常源性质提供较多的途径,可以较好地解决矿异常与非矿异常的区分问题,提高了寻找隐伏矿的能力。

(5)SIP 法能够区分矿与非矿。当频率相关系数 $C_1 > 0.4$ 时,表征极化体内极化颗粒较均匀; $C_1 < 0.4$ 时,表征极化体内极化颗粒不均匀。据此,可按极化体在目标地质体中的结构差异来识别目标体的地质属性(即区分矿与非矿)。此项功能又可细分为识别金属硫化物 IP 异常与含碳质地层 IP 异常。根据大量实验统计结果,当时间常数 $\tau_1 > 100s$ 时,极化体为高含量石墨或石墨化岩石, $\tau_2 > 10s$ 时,极化体为高含量硫化物或石墨化岩石。

SIP 法一般用在地质工程勘探前,对 IP 异常源及其他物化探异常源或地质目标靶体、靶区进行解剖性和控制性勘查的详查阶段;地质任务主要是针对勘探目标体的地质属性做判断、对空间分布做定位。

1.3 瞬变电磁法(TDEM)

1.3.1 基本原理

瞬变电磁法(TDEM)属于时间域人工源电磁方法,是以大地中岩(矿)石的导电性和导磁性为物性前提,根据电磁感应原理观测、研究电磁场空间和时间分布规律,以寻找地下良导矿体或解决相关地质问题的一种勘查方法。它是利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲电磁场,如果地下有良导体地质体(矿体)存在,在一次电磁场地激励下,良导电地质体(矿体)受感应而产生涡旋电流。由于导电地质体是非线性的,所以脉冲电流从峰值跃变到零,一次磁场立即消失,而涡流并不立即消失,有一个瞬变过程,这个过程的快慢与导体的电性参数有关。地质体的导电性愈好,涡流的热耗损愈小,瞬变过程则愈长。这种涡流瞬变过程,在空间形成相应的瞬变磁场,脉冲电流关断期间在地面观测瞬变磁场,即观测二次磁场,就可发现地下异常地质体的存在,从而确定地下导体的电性结构和空间分布形态。

1.3.2 瞬变电磁法主要特点:

- (1)由于 TDEM 法接收的是纯二次场,因而不受一次场的影响。
- (2)可以采用高密度时序采样,纵向分辨率较高。
- (3)穿透低阻覆盖能力强,勘探深度大。
- (4)发射用不接地回线,不受地表接地条件限制。
- (5)一般矿山主要干扰是电场,相对 TDEM 干扰较小。

近几年我们在深部找矿实践中,利用 CSAMT 或 TDEM 法高效经济、勘探深度大、分辨率高的优势,查明主要控矿构造的分布特征及深部变化规律,选择成矿有利部位,在成

矿有利地段采用 SIP 法对矿(化)体进行空间定位,确定验证孔位。下面介绍最近几个典型深部矿的工作实例。

2 深部金矿找矿中的应用实例

2.1 在招平断裂带金矿深部找矿中的应用

2.1.1 地质及地球物理概况

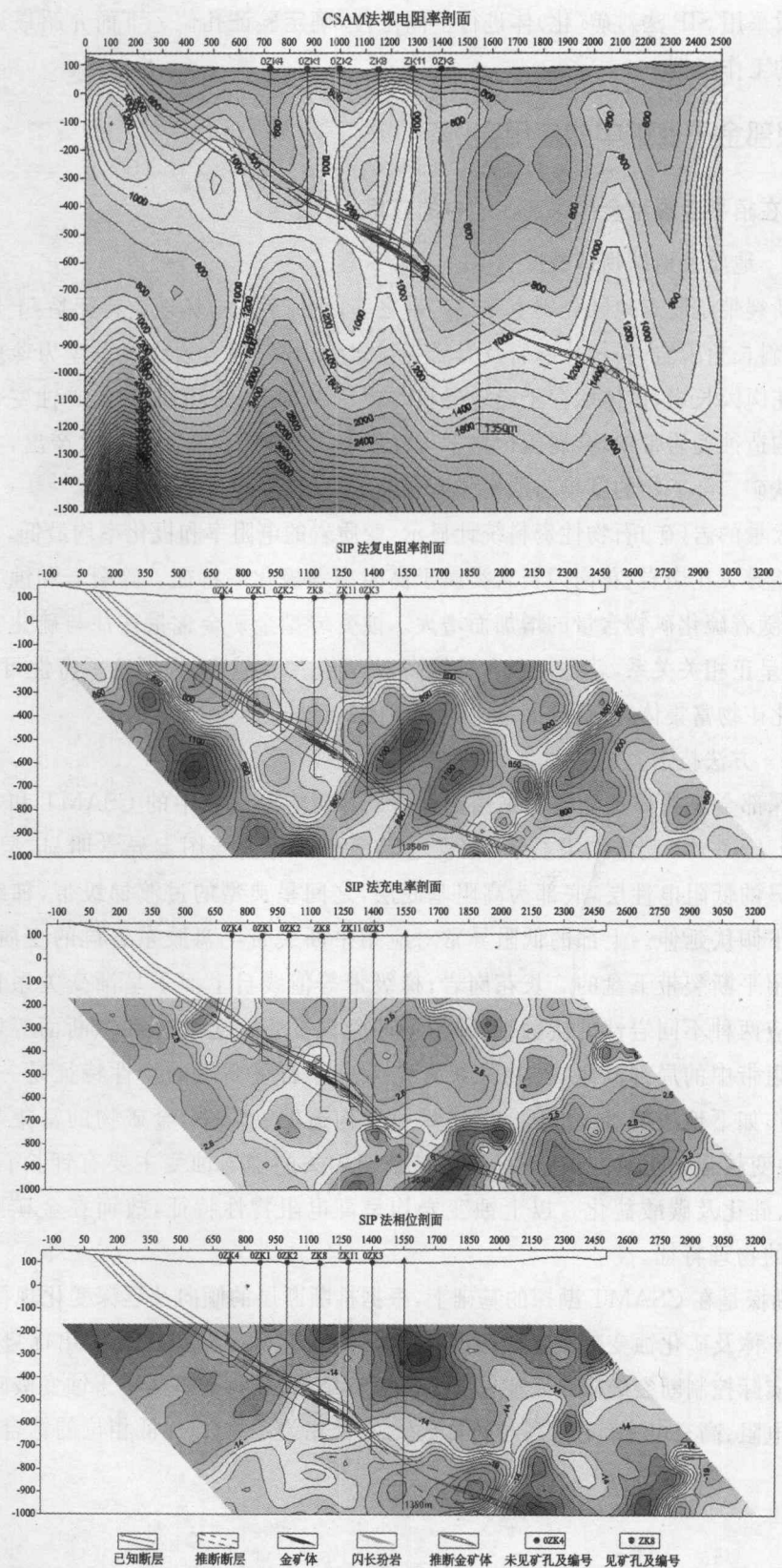
招平断裂带是胶东地区金矿主要成矿带之一,研究区的矿床地质特征是:上盘为老地层,岩性为斜长角闪岩、斜长片麻岩及黑云变粒岩等,普遍混合岩化。下盘为玲珑花岗岩或郭家岭花岗闪长岩,矿体赋存于老地层与玲珑花岗岩接触带形成的破碎蚀变带内。矿体赋存于构造蚀变岩带中,金属硫化物多呈浸染状、细脉状或细脉浸染状产出,主要载金矿物为黄铁矿。金矿物的富集与蚀变强度有关,蚀变越强矿化越好。

通过大量的岩(矿)石物性资料统计显示,变质岩的电阻率和极化率均最低,与其他岩性有明显差异。花岗岩、花岗闪长岩类属于高阻中等极化率特征。碎裂岩和蚀变岩极化率较高,且随着硫化矿物含量的增加而增大。蚀变岩型金矿金含量往往与硫化物的含量关系密切,呈正相关关系,就是说金含量越高,其极化率也越高,根据这一特性可利用 SIP 法寻找硫化矿物富集体,以达到间接寻找金矿体的目的。

2.1.2 方法技术

本次深部金矿找矿预测研究采用的是 V8 多功能电法仪中的 CSAMT 和 SIP 方法综合勘探。CSAMT 测量结果显示:在视电阻率断面等值线图上异常明显,层位清晰,上部为明显的低阻电性层,底部为高阻基底层,之间呈典型的过渡梯级带,梯级带呈舒缓波状向下倾伏延伸。上部的低阻异常对应招平断裂带上盘胶东岩群的变质岩;高阻基底对应招平断裂带下盘的二长花岗岩;梯级带等值线自上而下呈渐变关系且局部变化较大对应两种不同岩性的接触带,即招平断裂蚀变带。金矿体在拟断面等值线图上表现为低阻带中的局部高阻,与物性统计结果金矿石呈高阻的物性特征是一致的,对此特征可作如下地质解释:由于金矿体赋存于构造蚀变岩中,金矿物的富集与蚀变强度有关,蚀变越强矿化越好,在该区与成矿密切相关的围岩蚀变主要有钾长石化、黄铁绢英岩化、硅化及碳酸盐化。以上蚀变岩均呈高电阻物性特征,故而在金矿赋存区显示为高阻的物理特征。

SIP 勘探是在 CSAMT 勘探的基础上,根据推断断层的倾向及延深变化规律,设计勘探窗口。矿体及矿化蚀变带激电效应反应明显,充分显示了该方法的突出优势。图 1 中为预测区实际控制断裂破碎带及矿体。实际验证结果表明:金矿体位于蚀变破碎带内,呈明显的高电阻、高充电率(m_a)、高时间常数(τ_a)、低相关系数(c_a)、低相位的综合地球物理特征。



2.2 甘肃公婆泉铜矿深部找矿中的应用效果

公婆泉斑岩型铜矿，位于肃北地区北山成矿带，是 20 世纪 50 年代发现的中型斑岩型铜矿。矿床受构造控制明显，其主要表现有火山构造和断裂构造，不仅为成矿流体提供了运移通道，而且成为有利的成矿空间；另一方面含矿气液可通过隐爆、液压致裂、热液溶蚀作用，扩展与产生新的构造空间而成矿，同时在构造的作用下，可使原有的贫矿、矿源层等富集成矿。矿田地质构造以断裂为主，铜矿化主要受控于北西西——近东西向的深大断裂及其次一级断裂，是控制区内斑岩铜矿的最主要的断裂。公婆泉铜矿田，不同类型的铜铁矿化广泛发育，斑岩铜矿与海西早期次火山岩有关，产于一矿区三个矿段；火山热液型铜矿与中——晚志留世火山活动有关，产于二矿区和一矿区三矿段角岩中；接触交代型热液铜、铁矿化，产于红柳沟——三道明水——尖山花岗闪长岩岩基与公婆泉群火山岩的接触带上。

由于研究区位于戈壁荒漠，接地条件极差，因此，我们首先采用瞬变电磁法(TDEM)查明主要控矿构造的分布特征及深部变化规律，根据区内成矿特征，选择成矿地质条件有利部位，布设频谱激电测深(SIP)精测剖面，圈定金属硫化物富集体的空间赋存部位，并在圈定的深部成矿预测区打到了富矿体，取得了非常好的地质效果。图 2 为该研究项目的其中一条综合研究剖面，最大见矿深度超过 800m。

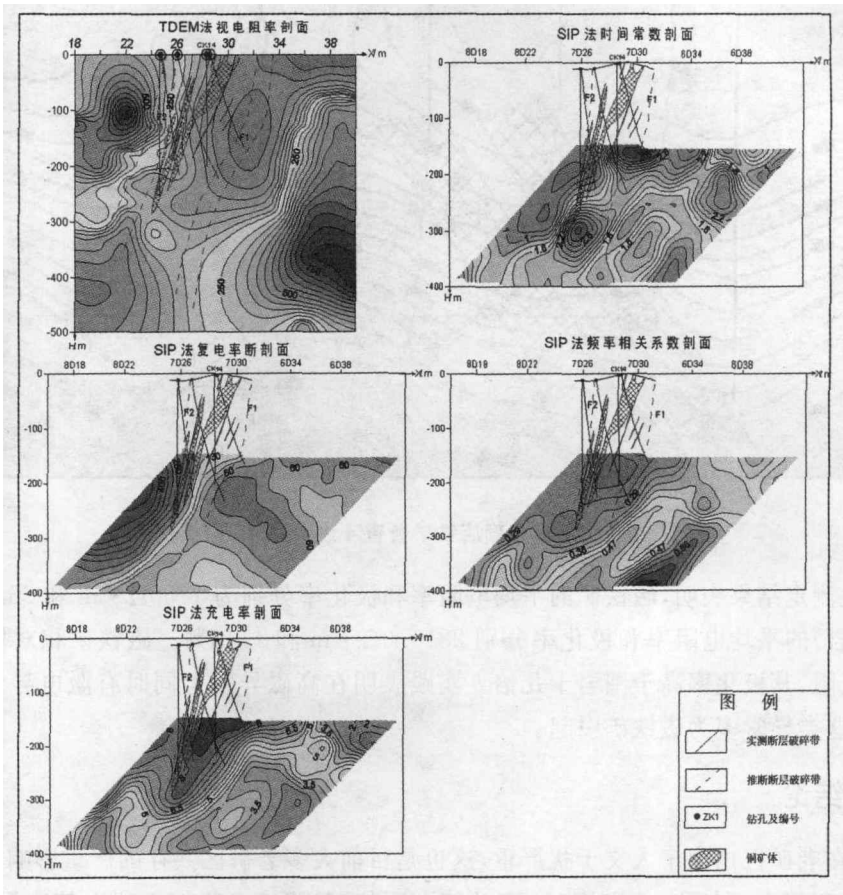


图 2 公婆泉铜矿深部及边部成矿预测研究 8 线综合物探剖面



2.3 在磁铁矿深部找矿中的应用效果

一般在磁铁矿的勘探中磁法是最有效的地球物理勘探手段,电法勘探可以辅助解决深部问题。以我省济宁颜店特大型铁矿为例介绍如下:

济宁颜店铁矿,地面磁异常规模大,地质环境复杂,埋藏深度大于1000m,地质勘探成本巨大,矿体的产状分歧较大。我们在重磁同源体上,采用CSAMT和SIP勘探推断,矿体倾向南西,倾角大于 50° ,矿体顶板埋深约1000m,整个含矿沉积建造可大致分为三大主矿带,验证结果与推断基本相同。图3、图4是其中的一条勘探剖面的CSAMT及SIP勘探推断及验证结果。

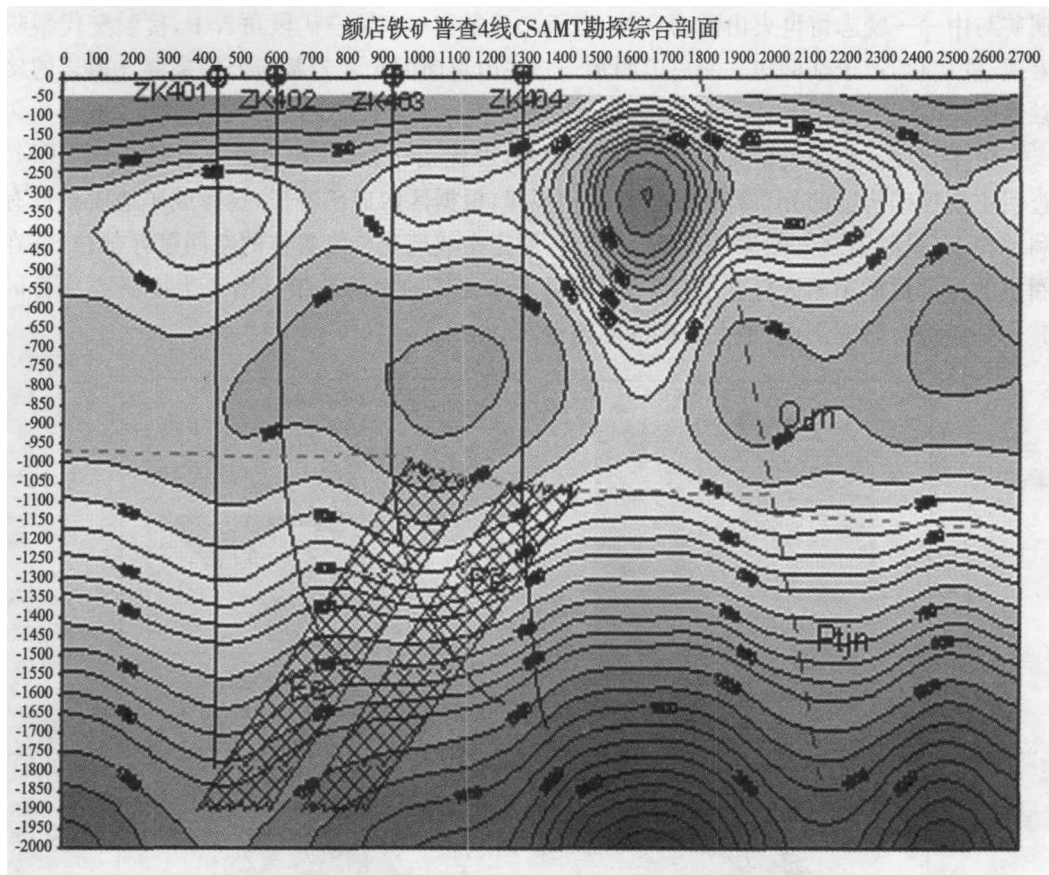


图3 山东省济宁市颜店铁矿普查4线CSAMT勘探剖面

物性测定结果表明,磁铁矿的平均电阻率和极化率分别为 $1750\Omega\cdot m$ 和28.59%,围岩(千枚岩)的平均电阻率和极化率分别 $2810.0\Omega\cdot m$ 和1.13%。磁铁矿相对围岩来说表现为低阻,其极化率高于围岩十几倍。实践表明在高磁异常上同时有激电异常和低阻反映,则这类异常多为磁铁矿引起。

3 结论

(1)在老矿区内由于人文干扰严重,这也是目前大多老矿区共存的严重影响电法勘探效果的重要因素,利用大功率的V8多功能电法仪,采用综合物探方法在解决深部构造、圈定深部隐伏金属硫化物富集体的空间赋存位置等地质问题有了较大的突破。

(2)SIP 在深部金属矿勘探中优势突出,多参数组合解释能够提供更丰富的地质信息,应用前景更为广阔。组合使用反演提供的导电性参数、IP 谱强度参数与 IP 谱形态参数可以较好地解决矿异常与非矿异常的区分问题。利用其功率大,抗干扰能力强的优势可以大大提高寻找隐伏矿的能力。

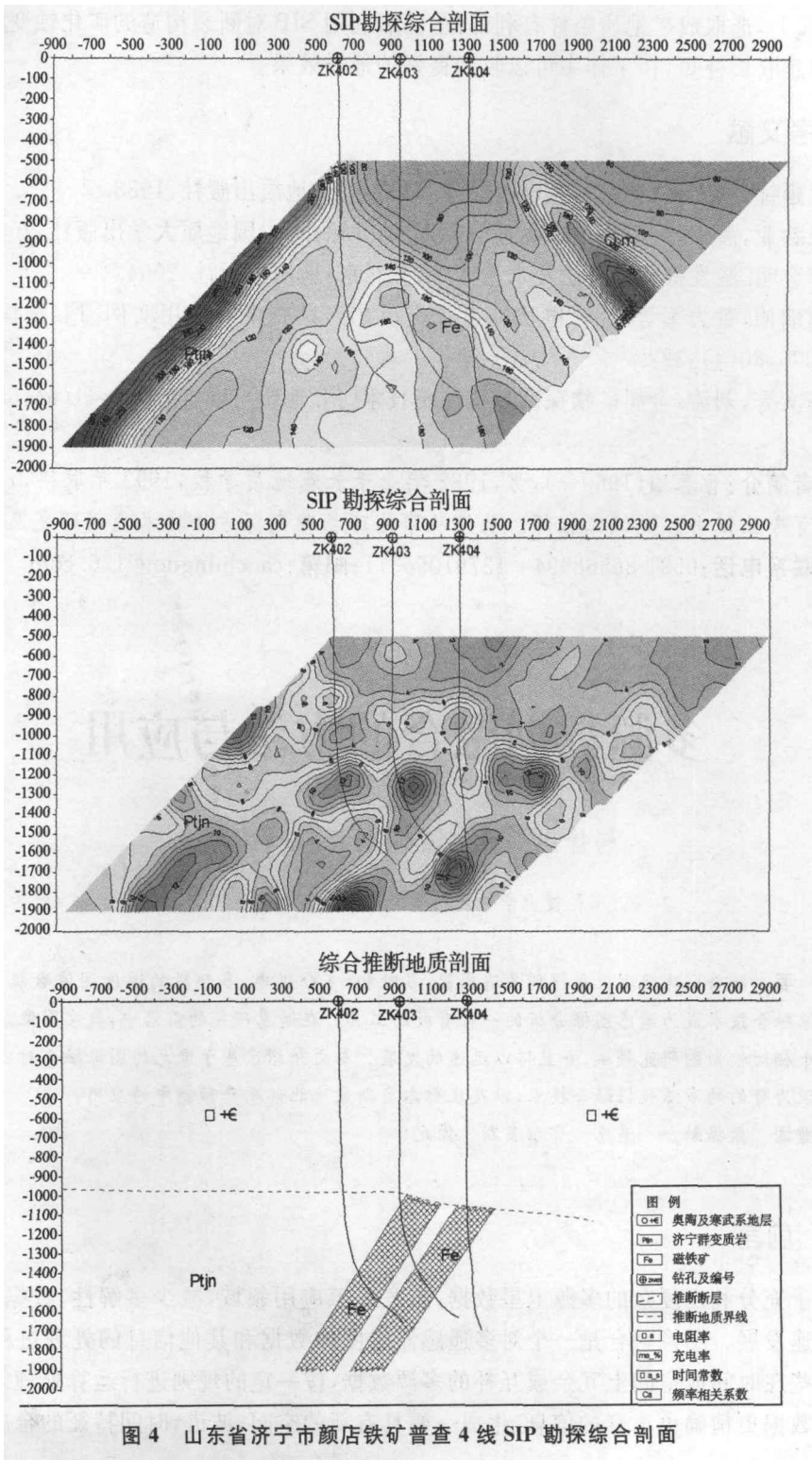


图 4 山东省济宁市颜店铁矿普查 4 线 SIP 勘探综合剖面



(3)在寻找深部金属矿中,CSAMT 及 TDEM 具有效率高成本低,勘探深度大分辨率高等优势。对深部隐伏断裂构造的变化规律及细节有较高的分辨能力;SIP 具有参数多、抗干扰、勘探深度大,异常单一等特点。能够准确的圈定金属硫化物富集体的分布位置,对异常的性质进行准确的定性及空间定位。经济高效的方法是,在 CSAMT 及 TDEM 勘探的基础上,选取成矿地质条件有利部位,然后利用 SIP 对断裂构造的矿化蚀变程度予以定性,相互取长补短,在工作中可以收到良好的地质效果。

参考文献

- [1] 罗延钟,吴之训. 频率域激电法原理[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [2] 张胜业,潘玉玲. 应用地球物理学原理[M]. 徐州:中国地质大学出版社,2004.
- [3] 李金明. 激发极化法方法技术指南[M]. 北京:地质出版社,2004.
- [4] 刘瑞德,黄力军等. 综合电法在有色金属矿产勘查中的应用实例[J]. 物探与化探, 2006,30(4):322.
- [5] 齐文秀,刘涛. 金属矿物探新方法与新技术[J]. 地质与勘查,2005,41(6):62.

作者简介:曹春国(1960—),男,1982 年毕业于长春地质学校,1992 年取得山东省成人高等教育专业证书。高级工程师。长期从事地球物理勘探方法技术应用研究及技术管理工作。**联系电话:**0531-86568994 13791056311;**邮箱:**caochunguo@126.com

多源数据融合的方法与应用

杨锋杰 卢 燕 杨振毅 宋翠玉

(山东科技大学地质科学与工程学院,青岛,266510)

摘 要 随着地球观测卫星得到多传感器,多时相,多分辨率,多频段的遥感图像数据,数字图像融合技术成为遥感图像分析的一种有效的工具。在遥感研究的前沿中,数字图像融合是一个相对较新的研究领域,并且得以迅速的发展。本文介绍了基于像元的图像融合对以数据处理为目的的多源数据融合技术,以及在鄂尔多斯盆地北部矿产预测中的应用。

关键词 数据融合 遥感 鄂尔多斯 像元

0 前言

为了充分利用复杂的多源卫星数据,拓宽遥感应应用领域,减少多解性,数据融合技术得到快速发展。图像融合是一个对多传感器的图像数据和其他信息的处理过程,它着重于把那些在时间或空间上冗余或互补的多源数据,按一定的规则进行运算处理,获得比任何单一数据更精确更丰富的信息,生成一幅具有新的空间,波谱,时间特征的合成图像。